

Requested document:**DE4132559 click here to view the pdf document**

Plasma etching in-situ cleaning process for vacuum deposition chambers - with separate plasma discharge excitation of etch gas and admission of activated etch gas to chamber

Patent Number: DE4132559

Publication date: 1993-04-08

Inventor(s): STEINHARDT HEINZ DIPL ING (AT); SPINDLER OSWALD DR RER NAT (DE); RASKE HANS (DE); MATHUNI JOSEF DR RER NAT (DE)

Applicant(s): SIEMENS AG (DE)

Requested Patent: DE4132559

Application Number: DE19914132559 19910930

Priority Number (s): DE19914132559 19910930

IPC Classification: C23C16/44; C23F4/00

EC Classification: C23C16/44A6

Equivalents: JP5214531

Abstract

Cleaning process for vacuum deposition chambers used in semiconductor technology has etch gases intensively excited in a microwave plasma discharge separate from the deposition chamber and the activated, electrically neutral etch gas particles are then admitted to the deposition chamber to etch all surfaces at high rates irrespective of surface position and arrangement.

Pref. a lower plasma, esp. below 50 W, can additionally be applied in the chamber during cleaning, to intensify the etching rate.

USE/ADVANTAGE - The invention provides an improved in-situ cleaning process for vacuum film deposition chambers used in the mfr. of silicon wafer integrated chips

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift
(10) DE 41 32 559 A 1

(51) Int. Cl. 5:
C 23 F 4/00
C 23 C 16/44

DE 41 32 559 A 1

(21) Aktenzeichen: P 41 32 559.1
(22) Anmeldetag: 30. 9. 91
(43) Offenlegungstag: 8. 4. 93

(71) Anmelder:
Siemens AG, 8000 München, DE

(72) Erfinder:
Steinhardt, Heinz, Dipl.-Ing. Phys., Wien, AT;
Spindler, Oswald, Dr.rer.nat., 8011 Vaterstetten, DE;
Raske, Hans; Mathuni, Josef, Dr.rer.nat., 8000
München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur in-situ-Reinigung von Abscheidekammern durch Plasmaätzten

(57) Zur Reinigung vorgesehene Ätzgase werden in einer von der Abscheidekammer räumlich getrennten mikrowellenge-speisten Plasmaentladung intensiv angeregt. Aktivierte, elektrisch neutrale Ätzgasteilchen werden danach in die Abscheidekammer eingeslassen und ätzen dort alle Oberflächen mit hoher, von der Position und Anordnung der Oberflächen unabhängiger Äzrate. In der Abscheidekammer kann zusätzlich ein Plasma sehr geringer Leistung gezündet werden.

DE 41 32 559 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur in-situ-Reinigung von in der Halbleitertechnologie zur Schichterzeugung verwendeten Abscheidekammern durch Plasmaätzen. Die Erfindung betrifft außerdem eine Verwendung des Verfahrens.

Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus "Reducing Contamination by In-Situ Plasma Cleaning of LPCVD-Tubes", D.W. Benzing, Microcontamination May 1986, bereits bekannt.

Die Abscheide- und Ätztechnik sind, neben Lithographie- und Dotiertechnik, zwei der grundlegenden Prozesse, die in der Prozeßfolge zur Herstellung von integrierten Schaltungen aus Siliziumsubstraten immer wieder verwendet werden. Die Entwicklungsfortschritte bei der Erhöhung der Chipintegrationsdichte haben die Anforderungen an die Einzelprozesse und Prozeßfolgen ständig verschärft. Damit zusammenhängend macht sich zunehmend eine verstärkte Notwendigkeit von hocheffektiven und fertigungstauglichen Reinigungsstufen bemerkbar. Als besonders kritisch hat sich dabei, neben der Scheibenreinigung, die spätestens nach einem bestimmten Durchsatz an Siliziumscheiben erforderliche Reinigung der in jedem Herstellungszyklus wiederholt zur Schichterzeugung verwendeten Abscheidekammern erwiesen.

Abscheidekammern werden beispielsweise zur Durchführung der häufig eingesetzten Niederdruck-Gasphasenabscheidungen (LPCVD), mit denen u.a. Polysilizium-, Siliziumnitrid- und Siliziumoxidschichten abgeschieden werden, verwendet. Um auch in temperatursensiblen Prozeßbereichen Schichten mit hinreichender Qualität erzeugen zu können, wurden plasmaunterstützte Gasabscheideverfahren (PECVD) entwickelt, bei denen die Aktivierung und Auslösung der Gasphasenabscheidung nicht primär thermisch, sondern durch ein Plasma erfolgt. Zum Stand der Abscheidetechnik wird auf D. Widmann et al., "Technologie hochintegrierter Schaltungen", Springer-Verlag 1988, insbesondere Abschnitte 3.1 und 5.2.1 – 3, hingewiesen.

Aufgrund der bekannten Nachteile einer Feuchtreinigung der Abscheidekammern, insbesondere der mangelnden Anlagenverfügbarkeit und des unzureichenden Reinigungseffektes bei derartigen "ex-situ"-Reinigungsprozeduren, und da die Abscheidekammern heute meistens ohnehin für plasmaunterstützte Abscheidungen ausgelegt sind, erfolgt die Kammerreinigung gegenwärtig üblicherweise durch in-situ-Trockenätzten mittels im Plasma aktivierter Ätzgase.

Das plasmaunterstützte Abscheiden dünner Schichten geschieht häufig in Vakuumkammern, die mit einer auf Erde liegenden beheizten Anode und einer HF-speisten Kathode ausgestattet sind. In diese Abscheidekammer werden dann Reaktionsgase bei konstantem Druck und Fluß eingelassen. Die Abscheidung findet nicht nur auf der in der Kammer befindlichen, zu beschichtenden Probe statt, sondern, mit unterschiedlichen Dicken, im ganzen Reaktionsraum. Zur Vermeidung von Kammeröffnungen, sowie dem Aus- und Einbau von Teilen mit den damit verknüpften Beschädigungsrisiken muß die Kammer ohne Öffnung und mit der vorhandenen technischen Anordnung gereinigt werden. Anstatt Gasen, die beispielsweise oxidische und nichtoxidische Glas- sowie Keramikschichten bilden, werden deshalb schichtauflösende Gase in die Abscheidekammer eingeleitet, die dort in einem mittels der vorhandenen Elektroden erzeugten Plasma aktiviert wer-

den. Im Plasma entstehen Ionen, Atome, Radikale und andere verschiedene Bruchstücke der eingeleiteten Gase, die mit den an den inneren Oberflächen der Kammer abgeschiedenen Schichten zu gasförmigen Produkten reagieren. Die unerwünschten Abscheidungen werden dadurch abgetragen und die gasförmigen Produkte können mittels Vakuumpumpen aus dem Reaktionsraum abtransportiert werden.

Die auf eine unzureichende Reinigung aller Kammeroberflächen zurückgehende Kontamination stellt eines der Hauptprobleme der zur Zeit in der Mikroelektronik zur Abscheidung von Schichten verwendeten Fertigungsanlagen dar. Auch die zuvor beschriebene in-situ-Reinigung durch Plasmaätzen ist, wie nachfolgend dargelegt wird, nicht ohne Schwierigkeiten und zu einer zufriedenstellenden Lösung des Problems der Reinigung von Abscheidekammern schon deshalb nicht geeignet, da sich das Design der Abscheidekammer dabei bisher immer als Kompromiß aus den Forderungen nach einer guten Abscheide- und Reinigungsleistung ergibt. Erwünscht ist jedoch ein Reinigungsverfahren, das eine Optimierung des Designs der Abscheidekammer hinsichtlich ihrer eigentlichen Hauptaufgabe erlaubt.

Eine der wichtigsten Anforderungen an ein fertigungstaugliches Reinigungsverfahren sind kurze Reinigungszeiten. Diese sollen eine möglichst hohe Verfügbarkeit der Abscheidekammer für den Fortgang der Fertigung gewährleisten. Als unmittelbare Folgerung muß die Atzung mittels Anregung bei sehr hohen Hochfrequenzenergien betrieben werden, um ausreichende Ätzraten zu erzielen. Einerseits werden im üblicherweise angelegten elektrischen RF-Feld besonders die Ionen mit größer werdender Spannung besonders stark zu den Elektrodenoberflächen hin beschleunigt. Außer zu Anisotropie- und zu Abschattungseffekten führt die benötigte hohe Anregungsenergie indirekt also auch dazu, daß die Elektrodenoberflächen aufgrund unterschiedlicher Schichtdicken verschieden stark erodierend angegriffen werden, da immer solange geätzt werden muß, bis die dickste Schicht abgeätzt ist. Andererseits ist die durch die Plasmainregung erzeugte Dichte isotrop ätzender, langlebiger Spezies trotz relativ hoher Anregungsenergie noch so gering, daß ungünstig gelegene Kammeroberflächen, die im Bereich geringerer Plasmadichten liegen, in der wegen der Schädigung der Elektroden nicht beliebig zur Verfügung stehenden Zeit nur ungenügend abgeätzt werden können. Dies führt mit zunehmender Einsatzdauer zur Schichtdickenzunahme und weiteren, kontaminierenden Partikeln.

Weitere Probleme ergeben sich beispielsweise aus der mangelnden Selektivität hochenergetischer Ätzgasteilchen gegenüber Schutzschichten wie Aluminium-oxid (Al_2O_3). Hinzu kommt vor allem noch die schlechte Haftung der auf aus dem Ätzgas stammenden organischen Polymerschichten parasitär abgeschiedenen Schichten.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gegenüber den genannten Nachteilen verbessertes Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß zur Reinigung vorgesehene Ätzgase in einer von der Abscheidekammer räumlich getrennten, mikrowellengespeisten Plasmaentladung intensiv angeregt werden, und daß aktivierte, elektrisch neutrale Ätzgasteilchen danach in die Abscheidekammer eingesetzt werden und dort alle Oberflächen mit hoher, von der Position und Anord-

nung der Oberflächen unabhängiger Ätzrate ätzen.

Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird im folgenden u. a. anhand eines Ausführungsbeispiels und der Zeichnung, deren einzige Figur, schematisch und geschnitten eine Abscheideanlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt, noch näher erläutert.

Die in der Figur dargestellte Abscheidekammer verfügt über Gaszuleitungen 11 und 12, beispielsweise für die Zuleitung von SiH₄ bzw. Argon, ein Gassammelrohr 14 und einen Mischraum 8 für Abscheidegase. Im Inneren der Kammer sind üblicherweise eine Gasabsaugkammer 5 und ein Waferhebemechanismus 6 vorgesehen. In der Figur ist ein Siliziumwafer 13 dargestellt, der sich auf einem metallischen Träger, der gleichzeitig als geerdete und beheizte erste Elektrode 1 dient, befindet. Andere, im Inneren der Kammer angeordnete Teile, beispielsweise Befestigungsmittel 3, sind vorzugsweise aus Keramik. Eine zweite, mit Hochfrequenzspannung gespeiste Elektrode 2 bildet gleichzeitig den Gaseinlaß vom Mischraum 8 in die eigentliche Abscheidezone der Kammer. Die Anordnung der von der Kammerwand 4 umgebenen Teile der Abscheidekammer lässt Abschattungseffekte erwarten.

Zur erfindungsgemäßen Reinigung der in der Figur dargestellten Abscheideanlage werden zur Reinigung vorgesehene Ätzgase, beispielsweise CF₄ bzw. O₂, über Zuleitungen 9 bzw. 10 in ein Ätzgasleitungsrohr 15 eingebracht und dort, von der Abscheidekammer räumlich getrennt, durch eine Mikrowellenquelle 7 intensiv angeregt. Die aktivierte Ätzgasteilchen werden anschließend in die Abscheidekammer eingelassen, wo sie, gegebenenfalls unterstützt durch ein von den vorhandenen Elektroden 1 und 2 erzeugtes Plasma sehr geringer Leistung, die gesamte Abscheidekammer mittels eines Ätzprozesses reinigen. Dabei entstehende Reaktionsprodukte und Verunreinigungen können ohne weiteres mittels Vakuumpumpen über eine Absaugleitung 16 entfernt werden.

Im Gegensatz zu bekannten plasmaunterstützten Reinigungsverfahren findet beim erfindungsgemäßen Verfahren eine externe und besonders intensive Mikrowellenanregung statt. Besonders vorteilhaft für die Mikrowellenanregung ist ein spezielles Verfahren, zu dem wir auf die am gleichen Tag wie die vorliegende Anmeldung eingereichte Patentanmeldung Nr. ... mit dem Titel "Verfahren zur Generierung angeregter neutraler Teilchen für Ätz- und Abscheideprozesse in der Halbleitertechnologie mittels einer mikrowellenenergiegespeisten Plasmaentladung" hinweisen, die hiermit in die Offenbarung einbezogen wird. Das zitierte spezielle Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Reaktiviteitsgenerierung, insbesondere eine sehr hohe Dichte neutraler Aktiviteileichen, aus, was angesichts der großen Kammeroberfläche sehr vorteilhaft ist. Durch die entfernte Anordnung der Anregungsvorrichtung vom Reaktionsraum werden beim erfindungsgemäßen Verfahren für die Abscheidekammer schädliche Spezies des Anregungsplasmas ausgesondert, andererseits aber nützliche, neutrale Reaktiviteileichen mit hoher Lebensdauer und in hoher Dichte erzeugt.

Die durch das Ätzgasleitungsrohr 15 in die Abscheidekammer kommenden Neutralteilchen haben außer der durch die Gasströmung und die Brown'sche Molekularbewegung vorgegebene, keine zusätzliche kinetische Energie und ätzen rein chemisch und deshalb isotrop. Alle Kammeroberflächen werden deshalb vor-

teilhafterweise unabhängig von ihrer Position und Anordnung gleich schnell geätzt, die Kammergeometrie kann also ganz auf Abscheidung hin optimiert werden.

Aufgrund der fehlenden kinetischen Energie der tatsächlich ätzenden Ätzgasteilchen werden die Kammeroberflächen nicht durch Abspülern oder Ionenbombardement geschädigt. Trotzdem kann mit der erfindungsgemäß einzusetzenden hohen Reaktiviteitsdichte — im Druckbereich von etwa 0,05 bis 500 Pa sind mehr als 50% aller vorhandenen Gasmoleküle angeregt — die Ätzrate hoch und damit die Ätzzeit klein gehalten werden. Erfindungsgemäß kann mithin auch bei sehr tiefen Drücken geätzt werden, ohne daß die Ätzrate merklich abnimmt. Dadurch wird der Anwendungsbereich bezüglich der Reinigungsoptimierung erheblich erweitert.

An Stellen mit besonders dicken Abscheidungen, insbesondere an den Elektroden, kann zusätzlich ein Plasma sehr geringer Leistung mit Hilfe der vorhandenen Elektroden gezündet werden, um lokal die Ätzrate zu erhöhen und um die Ätzzeit für alle Kammenteile gleich zu wählen, ohne daß die Leistungsbelastung durch den Plasmaleinfluß wieder zum erhöhten Teileverschleiß führt. Ausgenutzt wird dabei die Tatsache, daß die durch Mikrowellenenergie bereits intensiv angeregten Teilchen nur noch einer geringen zusätzlichen Anregung im Plasma bedürfen, um die Ätzrate zu erhöhen. Die intermolekulare Energieübertragung, bei der durch Auswahl und Anregung eines geeigneten, primär durch Mikrowelle angeregten Gases mit metastabilen Zuständen definiert Energie auf ein anderes Molekül zu einer spezifisch gewünschten Sekundärreaktion übertragen wird, eröffnet zusätzliche Möglichkeiten für schonende Ätzreaktionen in einem definierten Energienbereich.

Mit dem erfindungsgemäß in-situ-Reinigungsverfahren lassen sich die Nachteile der bisher bekannten Verfahren, wie hohe Kosten durch lange Instandsetzung und Ausfallzeiten, verursacht durch Verschleiß und "ex-situ"-Reinigung, vermeiden. Ursache ist eine sanfte, isotrop wirkende Ätzung mit hoher Ätzrate im gesamten Kammerbereich, deren Wirkung vollkommen unabhängig von der Kammergeometrie ist und keine Einschränkungen hinsichtlich des Abscheideprozesses notwendig macht. Außerdem können parasitäre Schichten ohne Zeitverlust dünn gehalten werden. Als Ausführungsbeispiel werden nachfolgend einige wichtige Verfahrensparameter für die Reinigung einer Polysilizium-Abscheidekammer angegeben.

Temperatur:	300–400°C
Druck:	150 Pa
Mikrowellenleistung:	850 W
Ätzgas:	CF ₄ , O ₂
Gasströmung:	200 scfm
Ätzrate:	3000 nm/min
zusätzliche HF-Leistung an den Elektroden:	30–50 W
Ätzrate mit Zusatzleistung:	5000 nm/min
geätzte Schicht:	Polysilizium
Reaktionsprodukte	SiF ₄ + CO

Die Erfindung ist, bei Einsatz der dafür geeigneten Ätzgase, auch auf andere abzuscheidende Materialien anwendbar. Beispielsweise lassen sich Abscheidekamern für Wolfram, Siliziumoxid, Bornitrid und Siliziumnitrid mit NF₃ als Ätzgas bei hohen Ätzraten reinigen. Für Kammern, in denen Al bzw. Cu abgeschieden wird,

kann vorteilhaft Chlorgas eingesetzt werden. Prinzipiell ist dabei für jede zu entfernende Schicht das Ätzgas einzusetzen, welches bei der entsprechenden Kammer-temperatur gasförmige, flüchtige Reaktionsprodukte mit dieser Schicht bildet.

Bei der Halbleiter-Herstellung erlangen Mehrkamersysteme, bei denen an zu bearbeitenden Substraten mehrere Prozeßschritte hintereinander in verschiedenen Kamern vorgenommen werden, ohne daß dabei eine Unterbrechung des im Mehrkammersystem insgesamt herrschenden Vakuums erfolgt, zunehmende Bedeutung. Eine vorteilhafte Verwendung des erfundsgemäßen Verfahrens besteht in der besonders schnellen Reinigung der Abscheidekammern derartiger Mehrkammersysteme insbesondere innerhalb der Totzeit während des Kammerwechsels, also innerhalb etwa 20 bis 30 Sekunden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur in-situ-Reinigung von in der Halbleitertechnologie zur Schichterzeugung verwendeten Abscheidekammern durch Plasmaätzen, dadurch gekennzeichnet, daß zur Reinigung vorge-
sehene Ätzgase in einer von der Abscheidekammer räumlich getrennten mikrowellengespeisten Plas-
maentladung intensiv angeregt werden, und daß aktivierte, elektrisch neutrale Ätzgasteilchen da-
nach in die Abscheidekammer eingelassen werden und dort alle Oberflächen mit hoher, von der Posi-
tion und Anordnung der Oberflächen unabhängi-
ger Ätzrate ätzen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß zur lokalen Erhöhung der Ätzrate während der Reinigung zusätzlich in der Abschei-
dekammer, insbesondere mittels dort bereits vor-
handener Elektroden, ein Plasma sehr geringer Lei-
stung, insbesondere unterhalb etwa 50 W, gezündet wird.
3. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 2 zur schnellen Reinigung von ausvakuumverbunde-
nen Abscheidekammern bestehenden Mehrkam-
mersystemen insbesondere innerhalb der Totzeit während des Kammerwechsels.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

